



## Evaluación de la tendencia de la temperatura mínima en la cuenca del plata entre 1980-2015 utilizando datos de reanálisis

Ordinola Agüero R.N.<sup>1</sup>, Cogliati M.<sup>2</sup>, Müller G.V.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Argentina.

<sup>2</sup> Facultad de Humanidades, Universidad Nacional del Comahue, Argentina.

<sup>3</sup> Centro de Investigaciones Científicas y Transferencia de Tecnología a la Producción (CICyTTP)- CONICET.

### Resumen

*En algunas regiones las observaciones de temperatura mínima de superficie son escasas y la calidad de medición histórica cuestionable. En el caso particular de la Cuenca del Plata, de gran extensión, la distribución espacial de estaciones meteorológicas es heterogénea, poco densa y de registro ocasionalmente discontinuo en el tiempo, por lo que contar con una cobertura espacialmente continua de una variable agrometeorológica tan sensible como la temperatura mínima y, en particular, de su comportamiento temporal, es de gran apoyo para realizar estudios en el área.*

*El objetivo de este trabajo es evaluar la tendencia temporal en la temperatura mínima absoluta en la Cuenca del Plata para el periodo 1980-2015 a partir de datos de temperatura mínima del reanálisis ERA-Interim del ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) con una resolución espacial de 0.125° utilizando dos técnicas diferentes.*

*El área en estudio está situada en el sudeste de Sudamérica entre 10°S y 36°S y entre 42°W y 66°W y constituye uno de los sistemas hidrográficos más importantes del mundo, siendo la segunda cuenca más grande de América del Sur, con una superficie de 3.1 millones de km<sup>2</sup>. Los análisis se realizaron con los mínimos de temperatura mínima registrados para cada mes para cada punto de grilla. La estacionalidad de cada punto se sintetizó mediante tres parámetros anuales:  $T_{Min}$  media anual (A0), diferencia entre la  $T_{Min}$  máxima y  $T_{Min}$  media anual (A1) y posición de la onda estacional (F1). Para cada parámetro se evaluaron las tendencias interanuales a partir del estimador Theil Sen, calculando su significancia con los tests no paramétricos: Mann Kendall (MK) y Mann Kendall Contextual (MKC).*

*Los principales cambios significativos en  $T_{Min}$  se registraron en el valor medio (≈58.0% de la cuenca), con una dominancia de las tendencias positivas en todos los parámetros evaluados. La utilización de ambas técnicas no aumentó sustancialmente el porcentaje del área con tendencias significativas (menor a 1.2% en los 3 parámetros de estacionalidad evaluados;  $p < 0.1$ ), sin embargo, el test MKC eliminó la detección de tendencias espúreas o píxeles aislados, presentando resultados geográficamente más coherentes.*

**Palabras clave:** Temperatura mínima absoluta, Cuenca del Plata, tendencia, Mann Kendall, Mann Kendall Contextual.

### Introducción

La Cuenca de la Plata constituye uno de los sistemas hidrográficos más importantes del mundo y es la segunda cuenca más grande de América del Sur, con una superficie de 3.1 millones de



km<sup>2</sup>. Esta cuenca ha experimentado importantes cambios en el uso del suelo en las últimas décadas (Lee y Berbery, 2012), agriculturización, aforestación, urbanización, producción hidroeléctrica, son algunos de los desarrollos significativos en la región. Esta área presenta una distribución espacial de estaciones meteorológicas heterogénea, poco densa y de registro ocasionalmente discontinuo en el tiempo (Zaninelli y otros, 2015a) por lo que contar con una cobertura espacialmente continua de una variable agrometeorológica tan sensible como la temperatura mínima y conocer sus cambios temporales, es de gran apoyo para futuros estudios en el área. Los reanálisis permiten realizar este tipo de estudios. Vincent y otros (2005) indican que en el periodo 1960-2000 en Sudamérica cambiaron principalmente los índices referidos a la temperatura mínima. En las últimas décadas, ha habido un aumento en la demanda de estudios climáticos que consideren valores extremos.

El test Mann Kendall (MK) es un test no paramétrico robusto, utilizado en el análisis de la tendencia en series climáticas e hidrológicas (Yue y Wang, 2004; Mavromatis y Stathis, 2011; Barbancho y otros, 2013), no requiere que los datos estén distribuidos normalmente y tiene baja sensibilidad a los cambios abruptos debidos a inhomogeneidad de la serie (Tabari y Talaei, 2011). El test Mann Kendall Contextual (MKC) es una modificación del anterior en que se utiliza la información de puntos de grilla vecinos para evitar correlaciones cruzadas, siguiendo el principio de que puntos cercanos deben presentar un comportamiento similar. Si bien hay varios estudios que analizan el comportamiento de la temperatura mínima en la región (Vincent y otros, 2005; Zaninelli y otros, 2015a, 2015b; Penalba y otros, 2013), no se encontraron trabajos que evalúen las temperatura mínima absoluta comparando las metodologías planteadas.

El objetivo de este trabajo es evaluar las tendencias temporales en la temperatura mínima absoluta en la Cuenca del Plata para el periodo 1980-2015 a partir de los test MK y MKC.

### **Materiales y métodos**

El área en estudio fue la Cuenca del Plata, entre 10°S y 36°S y 42°W y 66°W. Los datos de temperatura mínima fueron obtenidos del reanálisis ERA-Interim del ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts), con una resolución espacial de 0.125° para 1980-2015. Los análisis se realizaron utilizando la temperatura mínima absoluta ( $T_{\min}$ ) mensual, para cada punto de grilla ( $n = 36 \times 12 = 432$ ).

Las tendencias temporales en  $T_{\min}$  se estimaron mediante el análisis de tendencia estacional (STA, por sus siglas en inglés "Seasonal Trend Analysis", Eastman y otros, 2009). El proceso extrae la señal de la serie temporal en forma de ondas a partir de una regresión armónica, cada una de las cuales es descripta mediante su frecuencia (cantidad de ciclos en un año), amplitud (intensidad) y fase (orientación respecto al tiempo). La estacionalidad de cada punto de grilla, se sintetizó mediante tres parámetros anuales:  $T_{\min}$  media anual ( $A0$ ), amplitud de la curva anual de  $T_{\min}$  ( $A1$ ) y la fase o posición del ciclo anual de  $T_{\min}$  ( $F1$ ). La tendencia temporal de esos parámetros (en cada punto de grilla) se calculó mediante el estimador Theil Sen (Neeti y Eastman, 2011) y su significancia mediante los tests no paramétricos MK y MKC (Neeti y Eastman, 2011). El test MKC utiliza la información de 8 puntos de grilla vecinos para evitar correlaciones cruzadas, usando el principio de autocorrelación espacial. Los resultados son imágenes de Z estandarizado para cada uno de los parámetros, que indica el grado en que una tendencia aumenta o disminuye consistentemente, y mide la significancia y la dirección de la tendencia simultáneamente. A partir de esos valores se mapearon las tendencias significativas a diferentes grados de confianza: 90%, 95% y 99%.





## Resultados y discusión

Las Figuras 1(a a f) muestran la distribución espacial de los valores de tendencias significativas registrados utilizando MK (Figura 1a, 1b y 1c) y MKC (Figura 1d, 1e y 1f). Las diferentes tonalidades de rojo (azul) muestran las tendencias positivas (negativas) estadísticamente significativas a diferentes niveles. Cada uno de los parámetros anuales mostró patrones de significancia distintos. Las regiones identificadas con cambio significativo utilizando MKC fueron esencialmente las mismas, pero el patrón de distribución fue menos ruidoso observándose una menor cantidad de puntos aislados. Los principales cambios (Figura 1), se registraron en  $T_{\text{Min}}$  media anual (A0) y en la fase del ciclo anual de  $T_{\text{Min}}$  (F1). En el área, se observó una predominancia de tendencias positivas.

Se identificaron cambios en  $T_{\text{Min}}$  media anual en el N y NE de la cuenca (Figuras 1a y 1c), con descensos en el sector del Chaco Seco y en el este de la región pampeana. Se destaca un aumento significativo en el mar, a lo largo de la costa, y en el delta del Río de La Plata. Las tendencias significativas en la amplitud de la curva anual de  $T_{\text{Min}}$  (Figuras 1b y 1e) observadas se registraron en áreas menos extensas que las que registraron cambios en la media (8.0% vs 58.0%). En cuanto a la fase del ciclo anual de  $T_{\text{Min}}$  (Figuras 1c y 1f), se identificó principalmente aumento de la misma en la cuenca, lo cual indicaría un adelantamiento del pico máximo de  $T_{\text{Min}}$  en el período (1980-2015).

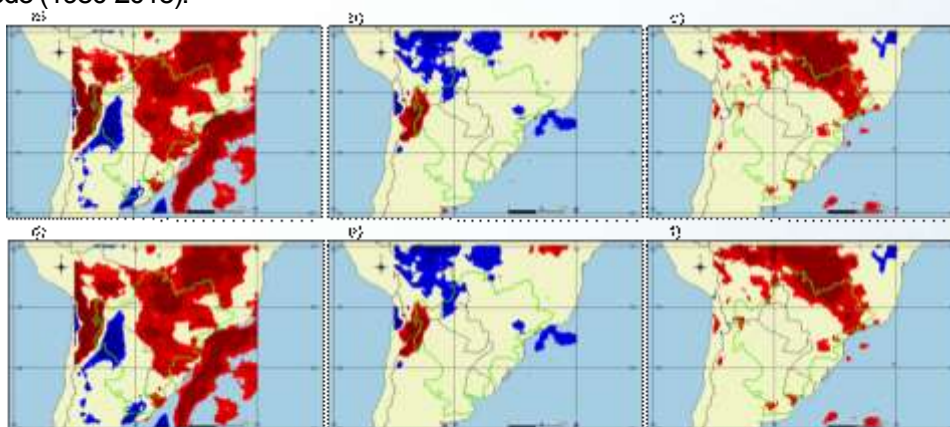


Figura 1. Análisis de tendencias estadísticas (STEs) de la temperatura mínima absoluta en la Cuenca del Plata. Se muestran las patrones de tendencias significativas utilizando el test MK (arriba) y MKC (abajo) en A0, A1 y F1 en el período 1980-2015. Estadísticamente significativas, en rojo aumentos y en azul disminuciones. La intensidad del color refleja niveles de confianza (90, 95 y 99%). a)  $T_{\text{Min}}$  media anual (A0) MK, b) amplitud de la curva anual de  $T_{\text{Min}}$  (A1) MK, c) fase del ciclo anual de  $T_{\text{Min}}$  (F1) MK, d)  $T_{\text{Min}}$  media anual (A0) MKC, e) amplitud de la curva anual de  $T_{\text{Min}}$  (A1) MKC, f) fase del ciclo anual de  $T_{\text{Min}}$  (F1) MKC.

La Tabla 1 presenta la comparación entre MK y MKC. Se puede observar cuantitativamente que, al incluir la información contextual, el porcentaje del área con tendencias significativas no varía (menor a 1.2%,  $p < 0.1$ ). A diferencia de lo identificado por Neeti y Eastman (2011) en otras regiones, la utilización de CMK en la cuenca no presenta un aumento en la significancia, sin embargo, se registra un aumento del área con cambios significativos al usar MKC, con las mayores diferencias en el caso de la  $T_{\text{Min}}$  media anual (A0) y las menores en la amplitud de la curva anual de  $T_{\text{Min}}$  (A1).

Tabla 1. Porcentaje de la Cuenca del Plata con tendencias significativas en A0, A1 y F1 para la temperatura mínima absoluta en el período 1980-2015 para MK y MKC. Los valores indican el

	A0		A1		F1		Diferencia (MK-MKC)		
	MK	MKC	MK	MKC	MK	MKC	A0	A1	F1
NS	42.5	41.3	92.0	91.7	78.1	77.3	1.2	0.3	0.8
S	57.5	58.7	8.0	8.3	21.9	22.7	-1.2	-0.3	-0.8



porcentaje del área total con una tendencia monotónica significativa (S) o no significativa (NS), para los niveles de confianza 90%, 95% y 99%, y diferencias entre los valores obtenidos para ambos tests.

## Conclusiones

El trabajo presenta las tendencias de la temperatura mínima absoluta ( $T_{\min}$ ) a partir de reanálisis ERA-Interim para la Cuenca del Plata en el periodo 1980-2015. El análisis utilizado permitió identificar tendencias de largo plazo, de 10 a 36 años. Las tendencias en los parámetros de forma del ciclo anual de  $T_{\min}$  mostraron patrones de significancia distintos, con cambios significativos sin coincidencia entre los distintos parámetros. En algunas regiones en que aumentó la  $T_{\min}$  media anual, no se registraron cambios en la amplitud o en la fase, o viceversa. Los principales cambios significativos en  $T_{\min}$  se registraron para su valor medio anual ( $\approx 58.0\%$ ).

La comparación de los dos tests utilizados para evaluar la significancia de las tendencias identificadas, MKy MKC, no presentaron diferencias en la significancia pero la utilización de la información del contexto permitió evitar la detección de tendencias espúreas o píxeles aislados. La elección entre ambas técnicas no produjo diferencias en las áreas con tendencias, aunque la utilización de MKC permitió obtener resultados geográficamente más coherentes.

## Referencias

- Barbancho, A. C., E. M. Tejeda y J. I. L. Moreno, 2013. Análisis de la variabilidad espacio-temporal de las precipitaciones en el sector español de la cuenca del Duero (1961-2005). Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles, (61), 235-260.
- Eastman, J., F. Sangermano, B. Ghimire, H. Zhu, H. Chen, N. Neeti, M. Cai, E.A. Machado and S.C. Crema, 2009. Seasonal trend analysis of image time series. International Journal of Remote Sensing, 30(10), 2721-2726.
- Lee, S.J. and E.H. Berbery, 2012. Land cover change effects on the climate of the La Plata Basin. *J. Hydrometeorology*, 13 (1), 84-102.
- Mavromatis, T., and D. Stathis, 2011. Response of the water balance in Greece to temperature and precipitation trends. Theoretical and Applied Climatology, 104(1-2), 13-24.
- Neeti, N., and J.R. Eastman, 2011. A contextual Mann-Kendall approach for the assessment of trend significance in image time series. Transactions in GIS, 15(5), 599-611.
- Penalba, O.C., M.L. Bettolli and P.A. Krieger, 2013. Surface circulation types and daily maximum and minimum temperatures in southern La Plata basin. Journal of Applied Meteorology and Climatology, 52(11), 2450-2459.
- Tabari, H., y P.H. Talaee, 2011. Analysis of trends in temperature data in arid and semi-arid regions of Iran. Global and Planetary Change, 79(1), 1-10.
- Vincent L.A., T.C. Peterson, V.R. Barros, M.B. Marino, M. Rusticucci, G. Carrasco, E. Ramirez, L.M. Alves, T. Ambrizzi, M.A. Berlato, A.M. Grimm, J.A. Marengo, L. Molion, D.F. Moncunill, E. Rebello, Y.M.T. Anunciação, J. Quintana, J.L. Santos, J. Baez, G. Coronel, J. Garcia, I.





---

Trebejo, M. Bidegain, M.R. Haylock and D. Karoly, 2005. Observed trends in indices of daily temperature extremes in South America 1960-2000. *Journal of Climate*, 18(23), 5011-5023.

Yue, S., and C. Wang, 2004. The Mann-Kendall test modified by effective sample size to detect trend in serially correlated hydrological series. *Water Resources Management*, 18(3), 201-218.

Zaninelli, P.G., A.F. Carril y C.G. Menéndez, 2015a. Explorando temperaturas máximas y mínimas en diferentes reanálisis: Parte 1: campos medios estacionales. *Meteorologica*, 40(1), 43-58.

Zaninelli, P.G., C.G. Menéndez y A.F. Carril, 2015b. Explorando temperaturas máximas y mínimas en diferentes reanálisis: Parte 2: variabilidad en diferentes escalas temporales. *Meteorologica*, 40 (1), 59-76.